

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



<p>88-244812/35 K05 X14 HITA 14.01.87 HITACHI KK *J6 3175-797-A 14.01.87-JP-007314 (20.07.88) G21c-07/10 Control rod for boiling water reactor - has neutron moderator materials sealed in neutron absorber region and neutron moderator region C88-109392</p>	K(5-B6A)
<p>Control rod, used for a boiling water reactor (BWR) in which the control rods are inserted from the downstream side of the flow of coolant, has a neutron absorber region and a neutron moderator region at the end of the neutron absorber region. Neutron moderator materials are sealed in the absorber region.</p> <p><u>USE/ADVANTAGE</u> Used for output distribution control and reactivity control in a BWR type reactor. Output peaking in the direction of the core height is reduced when cold, improving reactor shutdown allowance. After the operation of one cycle, by inserting the control rods, the combustion rate in the upper part of the core delayed in combustion is increased to increase the life of the fuel. By increasing the reactivity in the upper part of the core, the output</p>	<p>distribution in the direction of the core height is flattened. (9ppW-77DwgNo0/12).</p> <p>J63175797-A</p>

© 1988 DERWENT PUBLICATIONS LTD.  
128, Theobalds Road, London WC1X 8RP, England  
US Office: Derwent Inc. Suite 500, 6845 Elm St. McLean, VA 22101  
Unauthorised copying of this abstract not permitted.

for PWR or BWR



## ⑫ 公開特許公報(A)

昭63-175797

⑤ Int. Cl.<sup>4</sup>G 21 C 7/10  
7/08

識別記号

GDB  
GDB

庁内整理番号

Z-8204-2G  
Z-8204-2G

⑬ 公開 昭和63年(1988)7月20日

審査請求 未請求 発明の数 2 (全9頁)

⑭ 発明の名称 沸騰水型原子炉用制御棒とそれを用いた沸騰水型原子炉の運転方法

⑮ 特 願 昭62-7314

⑯ 出 願 昭62(1987)1月14日

⑰ 発 明 者 藤 村 幸 治 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑰ 発 明 者 内 川 貞 夫 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑰ 発 明 者 別 所 泰 典 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑰ 発 明 者 丸 山 博 見 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑰ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
⑰ 代 理 人 弁理士 本多 小平 外1名  
最終頁に続く

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

沸騰水型原子炉用制御棒とそれを用いた沸騰水型原子炉の運転方法

## 2. 特許請求の範囲

1. 冷却材の流れの下流側から制御棒が挿入される沸騰水型原子炉に用いられる制御棒であって、中性子吸収材領域と、該中性子吸収材領域よりも先端側に設けられ内部に中性子減速能の大きい中性子減速材物質を封入した中性子減速材領域とを具備することを特徴とする沸騰水型原子炉用制御棒。
2. 中性子吸収材領域と、該中性子吸収材領域よりも先端側に設けられ内部に中性子減速能の大きい中性子減速材物質を封入した中性子減速材領域とを具備した制御棒の該中性子減速材領域を原子炉運転中に炉心に挿入し、原子炉停止時には上記中性子吸収材領域を炉心に挿入することを特徴とする、冷却材の流れの下流側から制御棒が挿入される沸騰水型原子炉の運転方法。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔産業上の利用分野〕

本発明は、沸騰水型原子炉等において出力分布制御・反応度制御に用いられる制御棒及び上記制御棒を用いた原子炉の運転方法に関する。

## 〔従来の技術〕

原子炉の核特性は、原子炉中の減速材の量と $^{235}\text{U}$ や $^{238}\text{U}$ のような燃料物質の量との比、すなわち減速材対燃料比によって大きな影響を受ける。第2図は、重要な核特性パラメータである中性子無限増倍率と、減速材対燃料比の関係を示したものである。ここで減速材対燃料比は水素対燃料原子( $^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$ )の比として定義される。

一般に、中性子無限増倍率は、減速材対燃料比が大きくなると増加するが、減速材対燃料比がさらに増加すると逆に減少するという特性をもっている。

減速材対燃料比は、水や燃料の密度、燃料棒直径や燃料棒ピッチ等の格子パラメータの関数である。中性子無限増倍率を最大にするには、第2図

の値 $\alpha$ に減速材対燃料原子数比を設定すればよいが、実用の沸騰水型原子炉では、出力制御および安全性の点から、値 $\alpha$ よりも小さな値、例えば第2図のb点に設定される。

沸騰水型原子炉の出力状態における減速材対燃料比を高める技術としては、正方格子状に配列された燃料棒の一部を、内部に飽和水が流れる水ロッドに置き換える方法や、複数の燃料棒を1本の太径水ロッドで置き換える方法(特開昭48-80988)、燃料棒被覆管と核燃料物質ペレットの間に固体減速材物質を設置する方法(特開昭61-129594)が示されている。

〔発明が解決しようとする問題点〕

これらの従来技術において、水ロッドを使用する方法は、水素原子数の増加分が水の密度によって決定されるため、十分な減速材対燃料比を得るには水ロッドで置換される燃料棒が多くなり、燃料集合体の燃料装荷量が低下するという問題がある。一方、固体減速材物質を、燃料棒被覆管と核燃料物質ペレット間に設置する方法では、第3図

の水素含有量が大きいこと、第二に熱中性子吸収断面積が低いことが要求される。このような条件を満足する好適な例としては金属水素化合物がある。特にジルコニウムハイドライド( $ZrH_2$ )は、中性子吸収断面積も小さく、また $1\text{ cm}^3$ 当りの水素原子数も $7.25 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ であり、通常の沸騰水型原子炉の運転状態である70気圧での飽和水中の水素原子数 $5 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ よりも多い。さらに、中性子減速能( $\xi\Sigma_s[1/\text{cm}]$ )は、軽水1.36に対して $ZrH_2$ は1.47である。

〔作用〕

本発明による制御棒は、中性子吸収材領域よりも先端に設置した減速材物質領域を、沸騰水型炉心上部に挿入して運転することにより、炉心上部の反応度を高める。沸騰水型原子炉では一般に炉心下部の反応度が高いので、上記のように炉心上部の反応度を高めることにより出力分布の均一化を図ることができ、また炉心上部の燃焼度が進むので冷温時の炉心上部の出力ピークを抑えることができる。

に示すように、燃料の燃焼度が遅れる炉心上部において、冷温状態で中性子無限増倍率が高くなり、大きな出力ピークが生じて出力分布の歪みは大きくなり、炉停止余裕が少なくなる。この傾向は濃縮度が増加すると、それに伴って中性子の平均エネルギーが上昇するため、ポイド係数(絶対値)が増大するので、さらに強くなる。

本発明の目的は、燃料装荷量を減らさず反応度を高め、冷温時の炉心上部の出力ピークを小さくし、炉停止余裕を改善することである。

〔問題点を解決するための手段〕

上記目的は、冷却材の流れの下流側から制御棒が挿入されるタイプの沸騰水型原子炉において、中性子吸収材領域よりも先端部に中性子減速能の大きい減速材領域を設けた制御棒を用い、この制御棒の減速材領域を沸騰水型原子炉の運転時に炉心上部に挿入し、冷温時(炉停止時)には、上記制御棒の中性子吸収材領域を炉心内に全挿入することにより達成される。

上記減速材物質としては、第一に単位体積当り

ジルコニウムハイドライドを、本発明になる制御棒の減速材物質として用い、運転中に沸騰水型原子炉の炉心上部に挿入すると、第6図に示すように、制御棒の減速材領域挿入部の中性子無限増倍率が高くなる。この結果、炉心上部での燃焼が進み、第3図に示すような冷温時の制御棒全挿入時に発生する炉心上部での出力ピークを小さくできる。また、運転時には、第7図に示すように、炉心上部の出力が上昇し、相対的に炉心下部の出力ピークが減少する。

〔実施例〕

以下、本発明を実施例を用いて説明する。第1図は、本発明の一実施例になる十字型制御棒3の斜視図である。この制御棒は、制御棒を上から挿入するタイプの沸騰水型原子炉に用いるものである。1は中性子吸収材領域であり、内部にはボロンカーバイド( $B_4C$ )が充填されている。2は上記領域1よりも先端側に設けられた中性子減速材領域であり、内部には中性子減速材物質、例えばジルコニウムハイドライド( $ZrH_2$ )が充填されて

いる。中性子吸収材領域1は炉心有効長と同じ長さであり、中性子減速材領域2は炉心有効長の1/2よりも長い。

第4図(A)、(B)は上記の十字型制御棒を用いた沸騰水型原子炉の圧力容器内構造の縦断面図および炉心横断面図である。本炉心は出力300MWt規模の小型軽水炉を想定している。小型軽水炉は、冷却材の駆動力として自然循環を利用しており、液面において水と蒸気は分離するので、通常の沸騰水型軽水炉のように炉心上部に気水分離器・ドライヤーが設置されておらず、制御棒は炉心上方から下方へ挿入される構造となっている。炉心は、燃料サポート9と上部支持板10との間に配置された多数本の燃料集合体6で構成され、炉心シールド8で覆われている。制御棒3は水圧による制御棒駆動機構5によって駆動され、上部支持板10と案内管上部支持板11間に支持された制御棒案内管4を通り炉心内に挿入される。本実施例では第4図(B)で示すように、運転中は全ての制御棒先端の中性子減速材領域2が、炉

成された一種の沸騰水型原子炉である。高転換バーナー炉(特開昭61-129594参照)に、本発明になる第5図に示すクラスター型制御棒を用いた実施例について説明する。

高転換バーナー炉は、例えば第10図に示すように、燃料棒が稠密格子状に配列され、減速材である水素原子数と燃料であるウラン原子数との比(H/U比)が3.0以下であり、主に $^{238}\text{U}$ からプルトニウムを作る高転換領域燃料集合体Aを配置した高転換領域と、その外側にあって該燃料集合体Aの燃料棒を再組立して作られ、H/U比が5.0に近いバーナー領域燃料集合体Bを配置したバーナー領域とから構成される。燃料ペレット内のウラン濃縮度6w/o、冷却材の炉心平均モイド率40%におけるH/U比が2.17である上記高転換領域集合体の12本の制御棒案内管に、運転中、本発明になる前記クラスター制御棒の、ジルコニウムハイドライド( $\text{ZrH}_2$ )を封入した減速材領域2を上方から挿入したときのモイド70%における反応度の増加割合は、1.78%dk/kであった。この

心内の上部1/2の範囲に挿入されている。また炉を停止するときには、制御棒3の中性子吸収材領域1を炉心に全挿入する。

第5図(A)、(B)は本発明の他の実施例になるクラスター型制御棒の平面図および側面図である。1は中性子吸収材領域であり、内部にはボロンカーバイド( $\text{B}_4\text{C}$ )が充填されている。2は中性子減速材領域であり、内部には中性子減速材、例えばジルコニウムハイドライド( $\text{ZrH}_2$ )が充填されている。中性子吸収材領域1は炉心有効長と同じ長さであり、中性子減速材領域2は炉心有効長の1/2よりも長い。

このクラスター型制御棒は、燃料棒が稠密に配置される高転換型沸騰水型軽水炉において使用され得る。以下、高転換型沸騰水型軽水炉、特に、炉心が半径方向に、燃料棒が稠密に配列された高転換領域(内側)と、該高転換領域で使用された後に再組立して作りかえられた燃料棒が挿入されているバーナー領域(外側)という複数の領域からなり、炉心上方から制御棒を挿入するように構

結果に基づき、運転状態において高転換領域集合体の炉心上部の1/2の範囲に本発明になる前記クラスター型制御棒の減速材領域を挿入したときの、炉心高さ方向の中性子無限増倍率の変化は第6図のようである。冷却材モイド率の大きな炉心上端に近づく程、反応度の増加は大きい。第7図は、このときの炉心高さ方向の出力分布の変化を示したものである。この図より、炉心上部の、上記制御棒挿入領域で出力が上昇し、相対的に炉心下部の出力が低下していることがわかる。出力ピークの低下率は7%である。また本発明になる制御棒を用いない場合、上記高転換バーナー炉の運転サイクルは12ヶ月、サイクル燃焼度増分は9GWd/tを想定しているが、運転サイクル末期に上記制御棒を上記の如く挿入すると、余剰反応度が0.20%dk/k増加し、第8図に示すように、運転月数増加0.46ヶ月(燃焼度増加0.34GWd/t)が見込まれる。

なお、炉を停止するときには上記制御棒の中性子吸収材領域1を炉心に全挿入する。

以下、高転換バーナー炉に、本発明に基づくクラスター型制御棒を挿入する方法について幾つかの実施例を述べる。

本発明を高転換バーナー炉に適用した第1の実施例を第9図に示す。高転換バーナー炉において、第5図に示したクラスター型制御棒の駆動装置は燃料集合体3体に1体設置される。ところで、高転換バーナー炉の高転換領域燃料集合体においては、転換比を高め、プルトニウムを作ることを主な目的としている。一方、本発明の制御棒の減速材領域は、中性子スペクトルを軟かくし、転換比を下げる効果をもっている。従って、図示の如く、本実施例では、高転換領域燃料集合体 $A_0$ 、 $A_1$ のうち $A_0$ で示した7組(21体)の燃料集合体については、減速材を設置しない従来の反応度制御用のクラスター型制御棒を出し入れし、残りの $A_1$ で示した高転換領域燃料集合体についてのみ、その上方部に本発明に基づく第5図に示したクラスター型制御棒の減速材領域2を挿入して炉心を運転する。他方、バーナー領域燃料集合体においては、熱中

H/U比が小さな炉心上部のH/U比及び中性子減速効果が大きくなり、従って反応度が高くなるので、稠密格子燃料集合体下部に発生する出力ピークを相対的に小さくできる。このように、本発明を用いると、燃料集合体の高さ方向にウラン濃縮度分布をつけるなどの特別の対策を施さずとも、出力分布の平坦化が図られる。

第10図は、本発明を高転換バーナー炉に適用した第2の実施例を示したものである。原子炉の運転中、本実施例では図示の如く高転換領域のすべての燃料集合体の炉心上部に、本発明に基づく第5図のクラスター型制御棒の減速材領域2を挿入し、バーナー領域には減速材領域2(この場合、炉心有効長と同じ長さ)を全挿入する。本実施例は、主に、燃料の燃焼が進んだ運転サイクル末期に有効である。すなわち、この状態では、余剰反応度が小さいので、制御棒の中性子吸収材領域を挿入する必要がなく、高転換領域の炉心高さ方向の出力分布の平坦化を図ればよいからである。さらに、本実施例により、前述したように、燃焼度、

中性子を有効利用し、高転換領域で作られたプルトニウムを燃やしきることを主な目的としているので、図示の如く、本発明に基づく制御棒の減速材領域2(この場合、炉心有効長と同じ長さ)を挿入し、反応度を高めて運転する。なお、炉を停止するときには、これら制御棒の中性子吸収材領域1を炉心に全挿入する。

沸騰水型原子炉では、運転状態で炉心高さ方向にボイド分布が生じ、燃料下端ではボイド率0%であるが、上端では約70%となる。このボイド分布によって、燃料上下の水素対ウラン原子数比(H/U比)に差が生じ、従って中性子無限増倍率にも差が生じるので燃料下部の出力が高くなる。H/U比が3.0である高転換領域の稠密格子燃料集合体においては、H/U比は5.0に近く、従来の軽水炉の燃料集合体とH/U比がほぼ同じであるバーナー領域集合体と比べ、第2図からわかるようにH/U比の変化に伴う中性子無限増倍率の変化が大きく、ボイド分布による出力ピークも高くなる。ところで、本実施例によると、ボイド率が高く、

すなわち燃料の寿命が長くなる。

なお、炉を停止するときにはこれら制御棒の中性子吸収材領域1を炉心に全挿入する。

第11図は、本発明を高転換バーナー炉に適用した第3の実施例である。第9、10図で説明した実施例は、高転換領域とバーナー領域を併置した結合型の高転換バーナー炉に対するものであるが、本実施例は、結合型における高転換領域を独立した炉心とした分離型の高転換バーナー炉に対するものである。第11図における13は高転換炉心を、14はバーナー炉心である。高転換炉心においては、結合型高転換バーナー炉の高転換領域集合体と同様、炉心下部に出力ピークが発生する。これを抑えるために本実施例では、高転換炉心の炉心上部に、本発明による制御棒の減速材物質領域2を挿入する。バーナー炉心においては、高転換炉心のように大きな出力ピークが発生しないので、反応度を高めるために、上記制御棒の減速材領域を全挿入する。従って、本実施例の、バーナー炉心で用いる制御棒の減速材領域2は、炉心



- 14 ... ベーナー炉心、 15 ... 制御棒、  
 16 ... ギャップ水領域、  
 A ... 高転換領域燃料集合体、  
 B ... ベーナー領域燃料集合体、  
 A<sub>1</sub> ... 制御棒の減速材領域を挿入する高転換領域燃料集合体、  
 A<sub>0</sub> ... 制御棒の中性子吸収材領域を全挿入する高転換領域燃料集合体。

代理人

本多小平

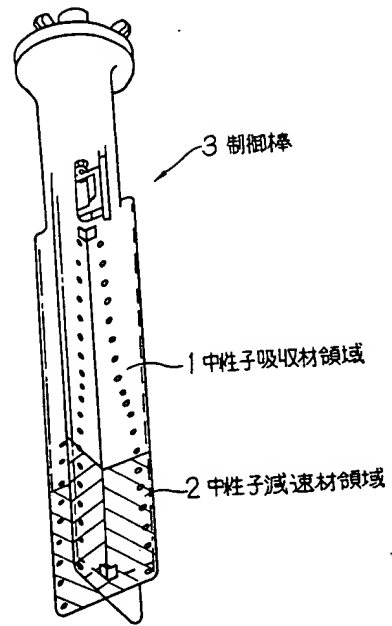


谷

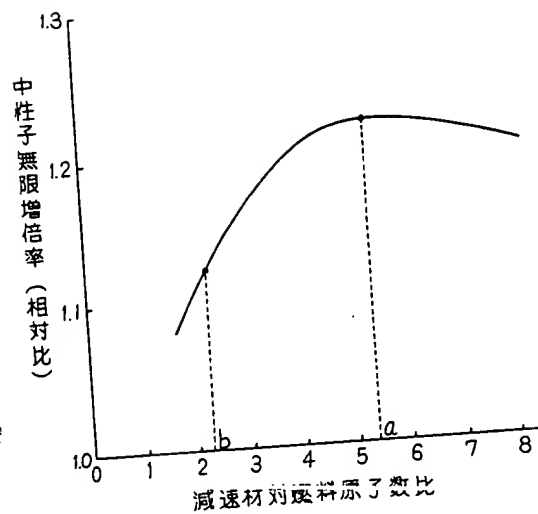
浩太郎



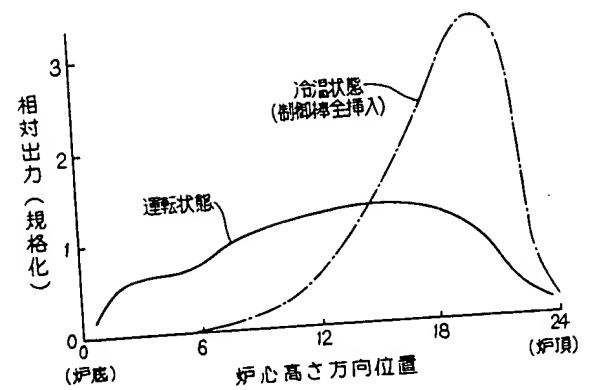
第1図



第2図



第3図



有効長と同じ長さをもっている。

本実施例が対象としている分離型の高転換ペーナー炉においては、結合型炉心の高転換領域側において発生する、領域間の出力バランスによる半径方向出力ピークが存在しない。その結果、高転換炉心燃料の炉心下部に発生する出力ピーク値も、結合型における出力ピーク値より小さくなるので、上記制御棒減速材領域の炉心内挿入深さを、結合型の場合より小さくしても、結合型の場合と同様の効果が得られる。なお、減速材領域の炉心内挿入深さを小さくすることにより、結合型の場合よりも転換比は高くなる。

第12図は、本発明を高転換ペーナー炉に適用した第4の実施例を示したものである。この例は、15で示すY字型制御棒を、ギャップ水領域16に挿入する高転換ペーナー炉心を対象としている。本実施例においては、Y字型制御棒の中性子吸収材領域より先端側に減速材領域を設け、これを高転換領域集合体に挿入して原子炉を運転する。

以上の実施例は全て、冷却材が炉心下部より上

部へ流れる沸騰水型炉心を、適し、本発明は、水平方向に冷却材型炉心においても、冷却材出口側制御棒に適用可能である。

本発明の制御棒先端に設置するジルコニウムハイドライドのよを用いる場合、減速材物質に濃縮することもできる。例えば、第3図に示す炉心上部に発生する出力ピークを低減するには、ピークの最も高い領域に高濃度の減速材濃度を高くすればよい。子燃料を用いる場合には、運転中に発生する出力ピークを抑えるためには、制御棒先端程、減速材濃度を高くすれば、それによる炉心上部の反応度低減でき、相対的に炉心下部の出力低減できる。

〔発明の効果〕

(1) 冷温時の炉心高さ方向の出力ピークを低減することができ、炉停止余裕が改善

(2) 1サイクル運転後、本発明になる制御棒を沸騰水型炉心上部に挿入することにより、燃焼が遅れた炉心上部の燃焼度を増加させ、燃料寿命を伸ばす

(3) 沸騰水型炉心上部の反応度を高めることにより、炉心高さ方向出力分布を平坦化できる

#### 4. 図面の簡単な説明

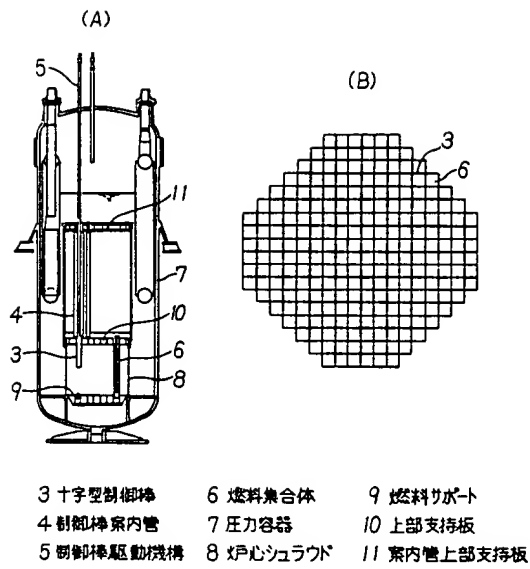
第1図は本発明になる制御棒の一実施例である十字型制御棒を示す図、第2図はウラン燃料における中性子無限増倍率と減速材対燃料原子数比の関係を図す図、第3図は従来の沸騰水型炉心の運転状態及び冷温状態における炉心高さ方向出力分布を示す図、第4図(A)は、本発明になる原子炉運転方法を用いた沸騰水型小型炉の圧力容器内構造物の縦断面図、第4図(B)は上記炉心の横断面図、第5図(A)、(B)は本発明になる制御棒の他の実施例であるクラスター型制御棒の平面図及び側面図、第6図は高転換ペーナー炉の高転換領域集合体の炉心上部の1/2の範囲に本発明になる制御棒を挿入したときと挿入しないときの運転状態におけ

る炉心高さ方向の中性子無限増倍率分布を示す図、第7図は第6図に対応する炉心高さ方向分布を示す図、第8図は上記高転換ペーナー炉1サイクル末期に本発明になる制御棒を挿入するときの運転月数あるいはサイクル燃焼度を示す図、第9図は本発明を高転換ペーナー炉に適用した第1の実施例を示す図、第10図は本発明を高転換ペーナー炉に適用した第2の実施例を示す図、第11図は本発明を分離型の高転換ペーナー炉に適用した第3の実施例を示す図、第12図は本発明を、高転換ペーナー炉に適用した実施例を示す図である。

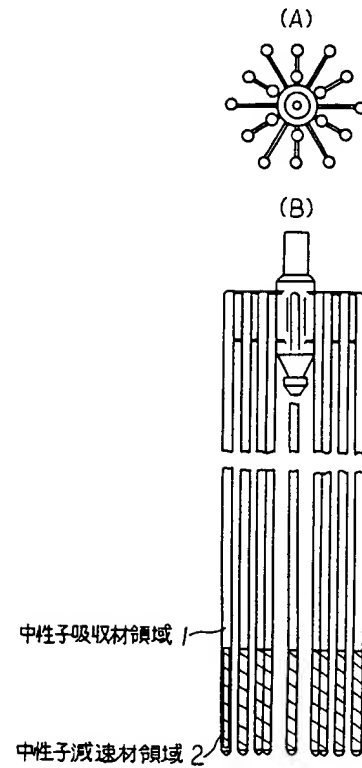
#### 符号の説明

- 1 … 中性子吸収材領域、2 … 中性子減速材領域、
- 3 … 制御棒、4 … 制御棒案内管、
- 5 … 制御棒駆動機構、6 … 燃料集合体
- 7 … 圧力容器、8 … 炉心シールド
- 9 … 燃料サポート、10 … 上部支持板、
- 11 … 案内管上部支持板、
- 12 … 燃料棒、13 … 高転換炉心、

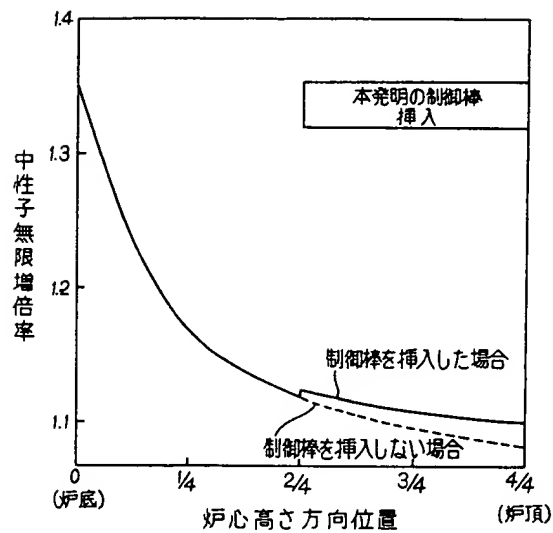
第4図



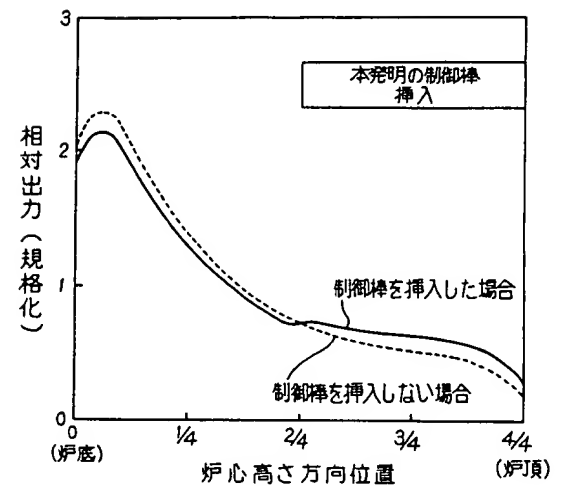
第5図



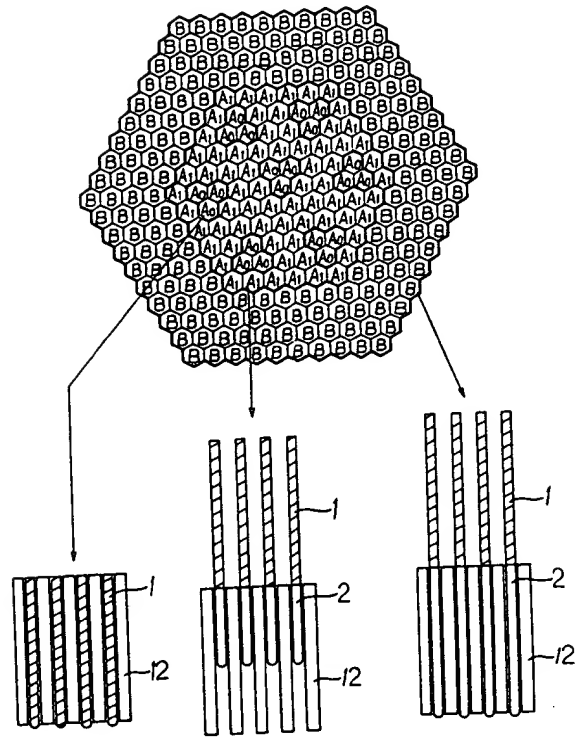
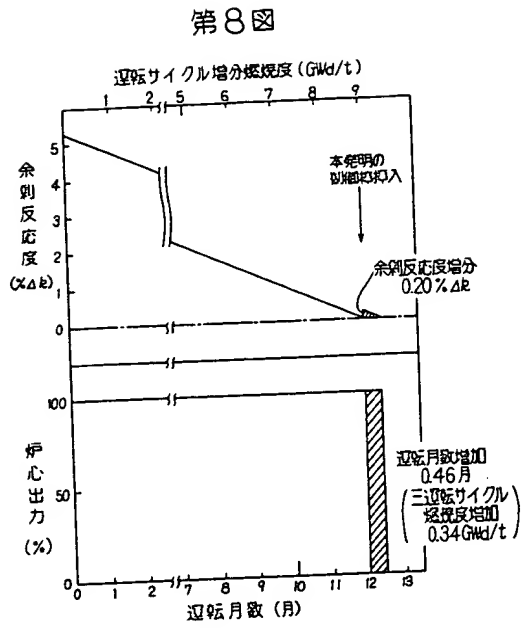
第6図



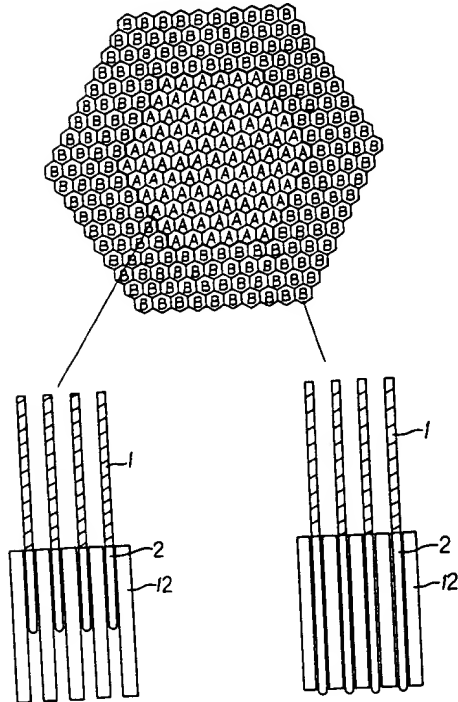
第7図



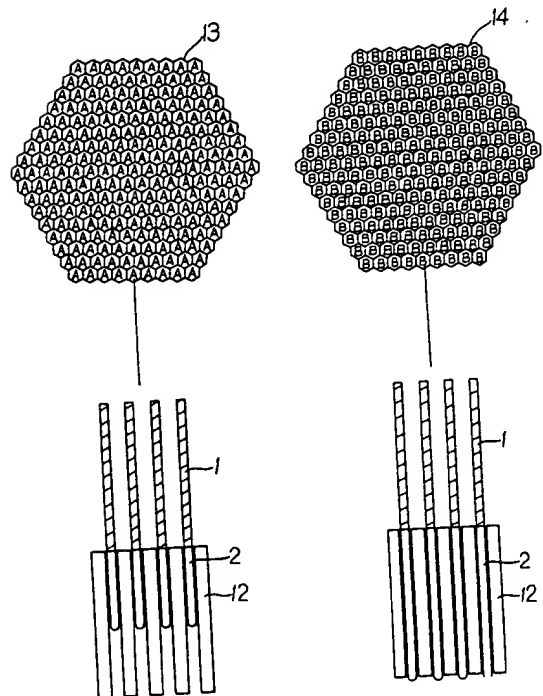
第9図



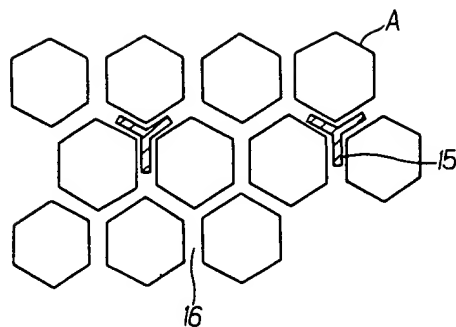
第10図



第11図



第12図



第1頁の続き

②発明者

松本

知行

茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

